

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СТРАТИФИКАЦИИ НОВООБРАЗОВАНИЙ МОЛОЧНЫХ ЖЕЛЕЗ ПО ДАННЫМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИССЛЕДОВАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: СТОИТ ЛИ ПОЛАГАТЬСЯ НА «МНЕНИЕ МАШИНЫ»?

Марущак Е.А.^{1,2}, Фисенко Е.П.¹, Зубарева Е.А.²

1 – ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. академика Б. В. Петровского, НКЦ №2», г. Москва, Россия.

2 – ФГБАУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» МЗ РФ, г. Москва, Россия.

Цель исследования. Сравнительный анализ расхождения результатов стратификации новообразований молочных желез (МЖ) по данным ультразвукового исследования (УЗИ) с применением программного обеспечения искусственного интеллекта (ИИ).
Материалы и методы. В 2024 году в отделении ультразвуковой диагностики стационара НКЦ №2 РНХЦ им. акад. Б. В. Петровского было выполнено мультипараметрическое УЗИ (В-режим, ЦДК, эластография, оценка микроваскуляризации) 91 пациентке в возрасте от 18 до 70 лет с 129 новообразованиями молочных желез, в том числе с применением программного обеспечения искусственного интеллекта УЗ-сканера Samsung RS85 S-Detect. Всем пациентам выполнена биопсия образований (тонкоигольная аспирационная биопсия, трепан-биопсия, вакуумная аспирационная биопсия) с последующей морфологической верификацией (цитология, гистология, тотальное гистологическое исследование с иммуногистохимическим анализом).

Результаты. Проведен сравнительный анализ результатов стратификации новообразований молочных желез по данным ультразвукового исследования без и с применением программ искусственного интеллекта. Совпадение данных ИИ и врача УЗД составило 117 (91%) новообразований, расхождения данных – 12 новообразований (9%). Совпадение данных УЗИ в исполнении врача и морфологической верификации составило 90%, а ИИ – 87%. Чувствительность УЗИ в исполнении врача и ИИ оказалась одинаковой и составила 82%; специфичность УЗИ в исполнении врача составила 92%, ИИ – 88%. При этом количество истинно-положительных случаев стратификации у врача составило 9, истинно-отрицательных – 108; ложноположительных – 10, ложноотрицательных – 2. При использовании ИИ были получены следующие данные: количество истинно-положительных случаев – 9, истинно-отрицательных – 104, ложноположительных – 14, ложноотрицательных – 2. В настоящей статье проведен анализ расхождений данных стратификации новообразований молочных желез по шкале BI-RADS (Breast Imaging-Reporting and Data System) врачом и ИИ у 12 пациенток, а также анализ расхождения данных стратификации по результатам морфологического исследования при совпадении мнений врача и ИИ (8 пациенток).

Обсуждение. При анализе случаев расхождения данных ИИ и врача, а также совпадения данных ИИ и врача, но расхождения с результатами морфологического исследования, было выявлено, что решающими факторами, приводящими к ошибкам ИИ, являются нечеткие контуры новообразования и отсутствие возможности анализа совокупности медицинских данных пациентки. ИИ, не обладая в настоящее время достаточно совершенными алгоритмами, подобными клиническому мышлению врача, формирует ошибочные заключения в случаях, отличных от «стандартных». Важным моментом при выполнении УЗИ с использованием ИИ является четкое позиционирование окна опроса на подлежащем анализу объекте, а также хорошее качество изображения.

Заключение. Программное обеспечение ИИ УЗ-сканера может применяться в практике врача ультразвуковой диагностики в качестве системы поддержки принятия решения, но с учетом существующих на сегодняшний день несовершенств алгоритмов, подверженных влиянию ряда факторов, потенциально приводящих к ошибочной интерпретации данных. Наиболее перспективной нишей использования ИИ на данный момент являются скрининговые исследования в условиях ограниченного врачебного ресурса. Наиболее значимыми лимитирующими факторами быстрого прогрессивного развития машинного обучения являются оператор-

зависимое определение зоны интереса, ограниченные качественные цифровые данные, а также все еще несовершенные алгоритмы анализа данных радиомикки.

Ключевые слова: ультразвуковая диагностика, молочная железа, искусственный интеллект, ИИ, морфологическая верификация, машинное обучение, глубокое обучение, BI-RADS.

Контактный автор: Марущак Е.А., e-mail: e.marushchak@mail.ru

Для цитирования: Марущак Е.А., Фисенко Е.П., Зубарева Е.А. Анализ результатов стратификации новообразований молочных желез по данным ультразвукового исследования с применения искусственного интеллекта: стоит ли полагаться на «мнение машины»? REJR 2025; 15(3):126-141. DOI: 10.21569/2222-7415-2025-15-3-126-141.

Статья получена: 19.05.25

Статья принята: 30.10.25

ANALYSIS OF THE RESULTS OF BREAST NEOPLASM STRATIFICATION BASED ON ULTRASOUND DATA USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE: IS IT WORTH RELYING ON THE "MACHINE OPINION"?

Marushchak E.A.^{1,2}, Fisenko E.P.¹, Zubareva E.A.²

1 - B.V. Petrovsky Russian Research Surgery Center. Moscow, Russia.

2 - N.I. Pirogov Russian National Research Medical University. Moscow, Russia.

Purpose. To provide the comparative analysis of the discrepancy between the results of the stratification of breast neoplasms according to ultrasound examination using artificial intelligence software.

Materials and methods. In 2024 in the department of ultrasound diagnostic of the SCC hospital No. 2 of B.V. Petrovsky Russian Research Surgery Center 91 multiparametric ultrasounds were performed (B-mode, CDK, elastography, assessment of microvascularization), in patients of 18-70 years old with 129 breast tumors, including using the Samsung RS85 S-Detect AI ultrasound scanner software. Then, morphological verification of neoplasms of various levels was performed in all patients (fine needle aspiration biopsy, trepan biopsy, vacuum aspiration biopsy, total histological examination with immunohistochemical analysis).

Results. A comparative analysis of the results of stratification of breast neoplasms based on ultrasound data was conducted with and without the use of artificial intelligence programs. The coincidence of the AI data and the ultrasound doctor was in 117 (91%) neoplasms, data discrepancies were in 12 neoplasms (9%). The coincidence of the doctor's ultrasound and morphological verification data was 90%, and the AI – 87%. The sensitivity of ultrasound performed by a doctor and AI turned out to be the same and amounted to 82%; the specificity of ultrasound performed by a doctor was 92%, AI – 88%. At the same time, the number of true-positive cases of stratification in doctor was 9, true-negative – 108; false-positive – 10, false-negative – 2. Using AI, the following data were obtained: the number of true-positive cases – 9, true-negative – 104, false-positive – 14, false-negative – 2. This article analyzes the discrepancies between the stratification data of breast neoplasms according to the BI-RADS (Breast Imaging-Reporting and Data System) scale of the doctor and the AI in 12 patients, as well as the analysis of the discrepancy between the stratification data based on the results of a morphological study with the concurrence of the opinions of the doctor and the AI (8 patients).

Discussion. When analyzing cases of discrepancies between AI and specialist data, as well as the coincidence of AI and specialist data, but discrepancies with the results of morphological examination, it was revealed that the decisive factors leading to AI errors are the fuzzy contours of the neoplasm, and the inability to analyze the totality of the patient's medical data. AI, which currently does not have sufficiently advanced algorithms similar to the specialist's clinical thinking, forms erroneous conclusions in cases other than the "standard" ones. An important point when performing ultrasound using AI software is the clear positioning of the survey window on the object to be analyzed, as well as good image quality.

Conclusion. The AI ultrasound scanner software can be used in the practice of an ultrasound diagnostics doctor as a decision support system, but taking into account the imperfections of algorithms that exist today, which are influenced by a number of factors that potentially lead to erroneous

ous interpretation of data. The most promising niche for using AI at the moment is screening studies in conditions of limited medical resources. The most significant limiting factors of the rapid progressive development of machine learning are operator-dependent identification of the area of interest, limited high-quality digital data, as well as still imperfect algorithms for analyzing radiomics data.

Keywords: ultrasound diagnostics, mammary gland, breast, artificial intelligence, AI, morphological verification, machine learning, deep learning, BI-RADS.

Corresponding author: Marushchak E.A., e-mail: e.marushchak@mail.ru

For citation: Marushchak E.A., Fisenko E.P1, Zubareva E.A. Analysis of the results of breast neoplasm stratification based on ultrasound data using artificial intelligence: is it worth relying on the "machine opinion"? REJR 2025; 15(3):126-141. DOI: 10.21569/2222-7415-2025-15-3-126-141.

Received: 19.05.25

Accepted: 30.10.25

В 2024 году международное агентство по исследованию рака (МАИР, IACR) опубликовало новые неутешительные данные по проблеме рака молочной железы (РМЖ). Было исследовано текущее (по состоянию на 2022 г.) и будущее (прогнозируемый 2050 г.) глобальное бремя женского рака груди в целом и по возрастным группам в 185 странах, а также 10-летние тенденции заболеваемости и смертности. Во всем мире в 2022 г. произошло 2300000 новых случаев и 670000 смертей от рака молочной железы. Годовые показатели увеличились на 1-5% в половине обследованных стран. К 2050 году новые случаи и смерти увеличатся на 38% и 68% соответственно. РМЖ остается наиболее часто диагностируемым типом злокачественных новообразований и самой распространенной причиной смерти от рака среди женщин [1].

Отмечается динамика роста доброкачественной дисплазии молочной железы (ДДМЖ), являющейся самой распространенной патологией молочных желез (МЖ). Статистический учет ДДМЖ не ведется, но по оценкам ряда авторов, ее частота в женской популяции составляет 50% и выше. Максимальная заболеваемость ДДМЖ регистрируется в возрасте 40-44 лет, достигая 200-400:100 000/год [2]. Dyrstad S.W., проведя метаанализ литературных данных, приводит результаты о том, что некоторые формы ДДМЖ, особенно пролиферативные варианты, ассоциированы с повышенным риском развития рака молочной железы в будущем [3].

Ультразвуковое исследование (УЗИ), будучи высокоинформативным и неизвазивным, является одним из рекомендованных и широкодоступных методов инструментальной диагностики новообразований МЖ [2]. В настоящее время эволюция визуализиру-

емых методов обследования пациенток с заболеваниями МЖ идет по пути активного внедрения и совершенствования технологий искусственного интеллекта (ИИ) [4,5].

Применение искусственного интеллекта (ИИ) в маммологии, с одной стороны, может повысить точность диагностики и эффективность лечения РМЖ, но при этом также возможны диагностические ошибки. В Российской Федерации (РФ) существуют регламентирующие использование ИИ в клинической практике документы, однако для полноценного внедрения данной технологии в алгоритмы скрининга необходимо усовершенствование нормативно-правовой базы. Одной из основных проблем остается отсутствие четко сформулированных норм и стандартов, регулирующих ответственность за ошибки ИИ [6]. В России ИИ модуль сертифицирован как часть медицинского изделия класса IIa, и при ошибке диагностики юридическая ответственность распределена между лечащим врачом и производителем, но де факто алгоритм недоступен для клинического «fine tuning», что может являться значимым фактором сдерживания внедрения в широкий скрининг.

ИИ, являясь продуктом программного обеспечения (ПО), включает поддомены машинного обучения (МО) и глубокого обучения (ГО). Алгоритмы МО используют параметры на основе заранее введенных экспертных знаний и ограничены своей зависимостью от функций, определенных экспертами, соответственно не могут адаптироваться к незадаанным изменениям в различных методах визуализации. Алгоритмы ГО, напротив, не требуют заранее определенных функций и областей интересов, поскольку способны автоматически анализировать информацию и обучаться на основе необработанных данных [7].

В настоящее время уже не вызывает

сомнений тот факт, что ИИ повышает эффективность диагностики новообразований МЖ, сокращая разрыв в производительности между менее и более опытными врачами, что снижает количество ненужных повторных обследований и биопсий, оптимизируя использование медицинских ресурсов и повышая общую эффективность диагностики [8,9,10]. Вместе с тем, применение ИИ в ультразвуковой диагностике (УЗД) все еще имеет ряд сложностей, возникающих в связи с формированием плохого качества изображений, наличием артефактов, проблемами цифрового архивирования, а также с большими различиями в количестве и модальности набора данных, используемых в ГО [11].

Программы ИИ в УЗД, подобно действиям врача, используются для идентификации и сегментации областей интереса, извлечения признаков и классификации доброкачественных и злокачественных поражений при ультразвуковой (УЗ) визуализации МЖ. Каждая из этих задач, с одной стороны, подлежит усовершенствованию путем применения алгоритмов ГО, а с другой стороны, имеет сложности и ограничения [12]. По уровню реализации и практического применения в УЗД ИИ можно условно поделить на ПО ИИ УЗ-сканеров и (как правило) вендор-нейтральные внешние платформы.

Для интерпретации новообразований МЖ их сначала следует сегментировать от фона. Процесс сегментации изображений новообразований МЖ в основном включает обнаружение области интереса, содержащей поражение, и очерчивание ее контуров. В настоящее время ручная сегментация в алгоритмах ИИ УЗ-сканеров в основном выполняется врачами УЗД, и этот процесс по-прежнему зависит от опыта работы врача и требует определенных временных затрат, особенно когда эхограммы имеют низкую контрастность, размытые границы, большое количество теней и артефактов. Дальнейшее развитие и совершенствование ИИ в части автоматической идентификации и сегментации, его автоматизация, значительно сэкономит время врачей УЗД, а также обеспечит качественную основу для дальнейшей работы алгоритмов ИИ уже по части анализа выявленной патологии [12,13,14]. Наиболее уязвимыми в данной области работы ИИ являются качество и полнота выполняемого сканирования в режиме реального времени, то есть соблюдение методологии УЗИ, что опять же имеет зависимость от человеческого фактора.

Врачи УЗД идентифицируют, сегментируют и анализируют патологию на основе

известных, в том числе текстурных, особенностей эхограмм. Этими особенностями могут быть такие ультразвуковые признаки, как расположение, форма, пространственная ориентация, край, экзогенность, кальцификация, тип акустической тени, васкуляризация. Именно эти признаки лежат в основе унифицированной УЗ-оценки узловых образований молочных желез Breast Imaging Reporting & Data System (BI-RADS) [15]. Чтобы уменьшить зависимость от врача, программы ИИ были применены для извлечения признаков из изображений УЗИ МЖ. В основе понятия о работе ИИ в этой части УЗД лежит радиомика – извлечение, анализ интерпретация данных из медицинских изображений. Текстуальный анализ является частью радиомики и лежит в основе объективной количественной оценки структуры опухоли путем анализа распределения и взаимосвязи пикселей в серошкальном изображении. В совокупности данные признаки обеспечивают комплексную характеристику патологии, называемую радиомической сигнатурой опухоли. Помимо перечисленных выше этапов обнаружения и сегментации, радиомика включает в себя дальнейшие процессы моделирования, статистической обработки и валидации данных [5,16]. Этап работы с данными радиомики является продуктом разработчиков ПО и полностью зависит от реализации алгоритмов МО.

Для стратификации новообразований в ПО ИИ также используются системы автоматизации. Следует отметить, что ИИ для классификации новообразований МЖ использует 2 группировки категорий: BI-RADS II-III и BI-RADS IV-VI. Исследования показали, что использование системы CAD (англ. CAD-computer aided diagnostic) на основе глубокой сверхточной нейросети, реализованной в УЗ-сканере Samsung RS80A (S-Detect) для анализа УЗ-признаков образований МЖ может значительно улучшить диагностическую эффективность врачей с разным опытом. Так, использование CAD S-Detect позволило увеличить с 76,6% до 80,3% без изменения чувствительности (91,7%) у опытных врачей и увеличить как чувствительность, так и специфичность у молодых врачей с 75% до 83,3% и с 71,8% до 77,1% соответственно [17]. Опыт применения данной технологии Eun Young Ko продемонстрировал результаты в виде 91,2% согласованности данных ИИ и оценки радиологом-маммологом при интерпретации характера образований в МЖ [18]. Схожие данные были получены и коллективом авторов настоящей статьи [14].

В настоящее время эволюция ИИ в УЗД

МЖ направлена в сторону дальнейшего совершенствования алгоритмов автоматизации сегментации области интереса и анализа данных радиомикки. Так, в метаанализе Fu Y. представлены данные о многообещающей точности прогнозирования системами ИИ состояния ключевых молекулярных биомаркеров РМЖ по данным радиомикки на основе УЗИ с чувствительностью и специфичностью 0,76 и 0,78 для прогнозирования HER2, 0,80 и 0,76 для биомаркеров Ki67 [19]. Одним из перспективных направлений развития ИИ является анализ и прогнозирование проводимого лечения на основе данных визуализации [12]. Кроме того, создается все больше внешних платформ (в том числе отечественных) в виде программ и приложений, способных обрабатывать архивированные цифровые изображения, полученные на УЗ-сканерах разных производителей [20]. Не теряет актуальности и интеграция иных параметров новообразований в анализ ИИ, таких как оценка васкуляризации (в том числе микрокровооток), эластических свойств, что в настоящее время практически не представлено в реализованных рабочих алгоритмах [21, 22, 23].

Таким образом, анализ использования ИИ в УЗД узловых образований МЖ, в том числе в части расхождения данных, является актуальной задачей, позволяющей не только определить его роль и место в настоящее время, но и дальнейшие перспективы развития. Хотя за последнее десятилетие ИИ демонстрирует большие успехи в медицинской сфере, он все еще находится на несовершенной стадии развития и далек от полной интеграции в работу врача, не говоря о полной замене человека. Это обусловлено множеством ограничивающих совершенствование ИИ факторов, таких как отсутствие крупномасштабных общедоступных наборов данных, зависимость от сегментации и интерпретации данных радиомикки, высокие требования к качеству изображений, региональные различия, а также проблемы переобучения и бинарной классификации. Кроме того, ИИ в основном нацелен на решение одной задачи и не может решать несколько задач одновременно, что является значимой проблемой, с которой сталкивается ГО на этапе разработки алгоритмов [12].

Цель исследования.

Сравнительный анализ расхождения результатов стратификации новообразований молочных желез по данным ультразвукового исследования с применением программного обеспечения искусственного интеллекта.

Материалы и методы.

В 2024 году в отделении УЗД стационара НКЦ №2 РНХЦ им. акад. Б. В. Петровского 91 пациентке было выполнено мультипараметрическое УЗИ молочных желез, в том числе с применением ПО ИИ УЗ-сканера Samsung RS85. При этом было выявлено и в дальнейшем верифицировано 129 новообразований.

Мультипараметрическое УЗИ выполнялось одним доктором с 20-летним опытом работы одновременно на двух УЗ-сканерах: сначала на Voluson E8 Expert (США) линейным датчиком ML6-15 (6-15 мГц), затем на Samsung RS85 (Южная Корея) линейным датчиком L3-12A (3-12 мГц). Использовали следующие режимы: серошкальный В-режим, режим ЦДК, компрессионная эластография, оценка микроваскуляризации. На основании полученных данных доктор определял категорию новообразования по шкале BI-RADS. В завершении классического УЗИ на УЗ-сканере Samsung RS85 с помощью ПО ИИ S-Detect для МЖ, с равно заданными параметрами чувствительности и специфичности, выполнена стратификация риска новообразований по шкале BI-RADS. Этот результат, являющийся «мнением машины», также отдельно отмечали в протоколе УЗИ. Область интереса (идентификация образования) для его анализа ИИ задавали путем установки врачом метки на центр опухоли.

Пример заключения, сформированного ПО ИИ S-Detect УЗ-сканера Samsung RS85, представлен на рис. 1. В левой части отчета представлена эхограмма новообразования, оконтуренная ПО ИИ и подлежащая дальнейшему анализу. Отчет, формируемый программой, также содержит иную полезную информацию: глубину расположения новообразования, его продольный и поперечный размеры, площадь. УЗ-характеристики также вручную могут быть дополнены врачом УЗД. В правой части отчета содержится краткая информация о трактовке ПО ИИ некоторых УЗ-характеристик опухоли серошкального В-режима.

Обращает на себя внимание, что ИИ не использовал отдельное значение по шкале BI-RADS, а использовал группы категорий: или I-III или IV-VI, что соответствует условно доброкачественному и злокачественному новообразованию. Такая группировка категорий имеет тактическую целесообразность для определения показаний к морфологической верификации новообразований, особенно впервые выявленных. Таким образом, I-III категории ИИ соответствуют II и III категориям, определяемым врачом, а IV-VI катего-

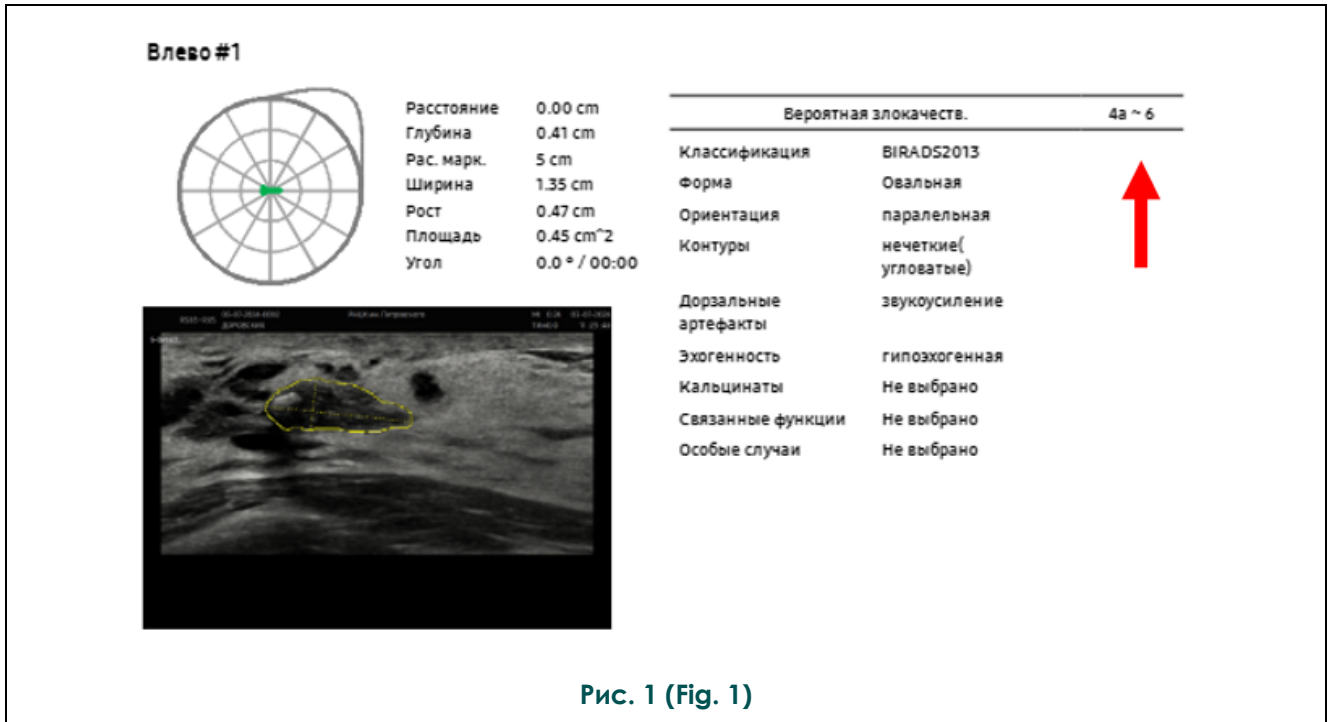


Рис. 1 (Fig. 1)

Рис. 1. Результат стратификации новообразования ИИ.

Контур, длинник и ширина, выделенный желтым цветом – периметр и размеры анализируемого новообразования.

Стрелка – стратификация новообразования ИИ по BI-RADS.

Fig. 1. Result of the stratification of AI neoplasms.

Contour, length and width, highlighted in yellow – the perimeter and dimensions of the analyzed neoplasm.

Arrows – stratification of the AI neoplasm by BI-RADS.

рии ИИ – IVa,b,c и V категориям врача (VI категория не могла быть установлена врачом, так как морфологически верифицированные до выполнения УЗИ злокачественные новообразования в исследование не вошли).

Возраст пациенток составил от 18 до 70 лет. Размер образований при этом варьировал от небольших, до 10 мм, и максимально до 56 мм по длинной оси.

Всем пациентам выполнена биопсия образований (тонкоигольная аспирационная биопсия, трепан-биопсия, вакуумная аспирационная биопсия) с последующей морфологической верификацией. При наличии у пациентки различных вариантов морфологических исследований в расчет брали наиболее информативный [14].

Статистическая обработка полученных результатов выполнена с использованием программы Microsoft Excel 2019 с установленным модулем обработки данных XLSTAT версии 2023.3.1.1416.

Алгоритм сравнения результатов УЗИ с результатами проведенной морфологической верификации был следующим: при выстав-

лении по данным УЗИ IV-VI категории по BI-RADS и получении при морфологической верификации клеток злокачественного новообразования результат расценивали как истинно-положительный. При совпадении данных УЗИ II-III по BI-RADS и отсутствии атипичных клеток в исследованном материале – результату присваивали значение истинно-отрицательного. Случаи гипердиагностики по данным УЗИ считали ложноположительными, а недиагностированные случаи рака МЖ – ложноотрицательными. Результаты УЗИ, полученные специалистом и ИИ, оценивали независимо друг от друга.

Результаты.

По результатам морфологической верификации рак молочной железы был диагностирован в материале 11 из 129 новообразований МЖ (8,5%). Все остальные 118 образований (91,5%) носили доброкачественный характер. При этом количество истинно-положительных случаев стратификации у врача составило 9, истинно-отрицательных – 108; ложноположительных – 10, ложноотрицательных – 2. При использовании ИИ были

получены следующие данные: количество истинно-положительных и ложноотрицательных случаев – аналогично результатам врача, соответственно: 9 и 2. У ИИ было больше ложноположительных результатов – 14 и, соответственно, меньше истинно-отрицательных – 104.

Таким образом, при УЗИ, выполненных и специалистом, и ИИ, присутствовали как ложноотрицательные (недиагностированные случаи РМЖ), так и ложноположительные (гипердиагностика) результаты. Чувствительность УЗИ в исполнении врача и ИИ оказалась одинаковой и составила 82%; специфичность УЗИ в исполнении врача составила 92%, ИИ – 88%. Совпадение данных УЗИ в исполнении врача и морфологической верификации составило 90%, а ИИ – 87%.

Данные УЗИ в исполнении врача и ИИ совпали в случае оценке 117 образований (91%). В 12 случаях (9%) были отмечены расхождения результатов у врача и ИИ.

В группе совпадения данных стратификации врача и ИИ (117 новообразований) с результатами морфологической верификации совпали 109 случаев: 8 истинно-положительных и 101 истинно-отрицательных. В 8 случаях совпадения данных стратификации врача и ИИ выявлено расхождение с результатами морфологической верификации.

В настоящей статье проведен анализ случаев расхождения результатов классификации новообразований по шкале BI-RADS врача-диагноста и данных ИИ (группа 1), а также случаев совпадения данных стратификации врача и ИИ, но расхождения с данными морфологической верификации (группа 2).

Группа 1. Пациентки с расхождением данных стратификации врача УЗИ и ИИ.

Из 12 новообразований этой группы было 7 случаев стратификации новообразований ИИ BI-RADS IV-VI как подозрительные в отношении РМЖ, в то время как врач УЗИ классифицировал их как BI-RADS II-III. У этих пациенток при морфологическом исследовании РМЖ был исключен, результаты стратификации ИИ оказались ложноположительными.

В качестве примера приводим клинические наблюдения.

Пациентка Б., 39 лет. Ультразвуковое изображение новообразования представлено на рис. 2. Образование крупное, горизонтальной пространственной ориентации, без капсулы, размерами 4,26x1,36 см, с нечеткими, сливающимися с окружающими тканями контурами, гиперэхогенное, неоднородной структуры, с мелкими жидкостными включениями.

Идентичность изображения образования молочной железы с окружающими тканями, по мнению врача, более вероятно, указывает на зону аденоза. Т.к. в окружающих тканях в режиме ЦДК сосудистой рисунок был обычный, не усиленный, выставлена категория BI-RADS III. ИИ трактует форму крупного образования как неправильную, а также описывает дорзальные артефакты и выставляет категорию BI-RADS IV-VI. Морфологическая верификация: склерозирующий аденоз. Вероятно, выраженная неоднородность, нечеткие контуры и большие размеры образования привели к распознаванию текстуры опухоли ИИ как потенциально злокачественной.

Второе наблюдение: пациентка Б., 38 лет (рис. 3). Исследуемый объект представлен жидкостным образованием размерами 1,75x1,28 см, с четкими неровными контурами, с толстыми стенками и неоднородным содержимым в виде взвеси. В капсуле сосуды не выявлены. В окружающих тканях определили локальное усиление сосудистого рисунка. УЗ-картина соответствовала кисте с воспалением. Врач определил образование в категорию BI-RADS III. В то же время неправильная форма, толстые стенки образования и высокая плотность содержимого обусловили трактовку образования ИИ как потенциально злокачественного, определив его в категорию BI-RADS IV-VI. При тонкоигольной аспирационной биопсии цитограмма соответствовала кисте с воспалением.

Третье наблюдение: пациентка О., 37 лет (рис. 4). На рис. 4 А изображение области ранее выполненной ВАБ-резекции крупной фиброаденомы, представленной замещенным рубцовой тканью ложем удаленной опухоли. ИИ не обладает возможностью решения нескольких задач одновременно, в том числе в части анализа данных анамнеза, и трактует данное образование односложно как потенциально злокачественное в связи с его пониженной эхогенностью, неправильной формой и неровными контурами.

Таким образом, ведущими факторами, приведшими к ошибочным данным стратификации ИИ по пути гипердиагностики, послужили нечеткие неровные контуры новообразования, его крупные размеры, невозможность провести полипозиционное сканирование, а также отсутствие анализа дополнительных (в том числе анамнестических) данных, результатов применения дополнительных УЗ-режимов (например, ЦДК) и клинического мышления.

3 новообразования, в дальнейшем с ис-

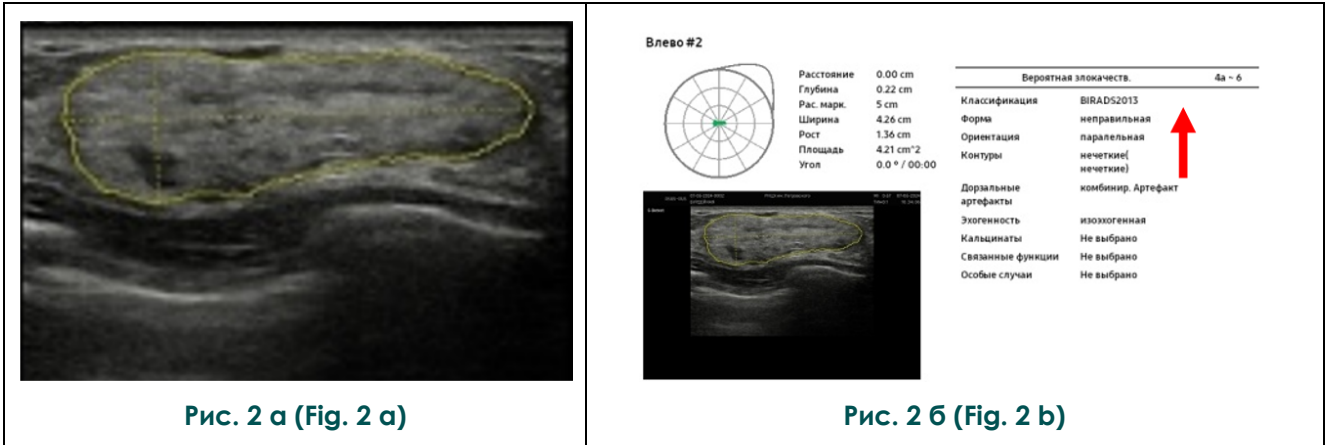


Рис. 2 а (Fig. 2 а)

Рис. 2 б (Fig. 2 б)

Рис. 2. УЗИ молочной железы. Пациентка Б., 39 лет.

А – Изображение новообразования в В-режиме. Крупное образование, горизонтальной пространственной ориентации, без капсулы, размерами 4,26х1,36 см, с нечеткими, сливающимися с окружающими тканями контурами, гиперэхогенное, неоднородной структуры, с мелкими жидкостными включениями. В – Результат стратификации ИИ. Контур, выделенный желтым цветом – периметр анализируемого новообразования. Стрелка – стратификация новообразования ИИ по BI-RADS.

Fig. 2. Ultrasound, breast. Patient B, 39 years old.

A – B-mode, image of the neoplasm. A large, horizontally oriented neoplasm, without the capsule, measuring 4.26 x 1.36 cm. Its contours are fuzzy and blend with the surrounding tissue. It is hyperechoic, heterogeneous and contains small fluid inclusions. B – the result of AI stratification. Contour, highlighted in yellow – the perimeter of the analyzed neoplasm. Arrows – stratification of the AI neoplasm by BI-RADS.

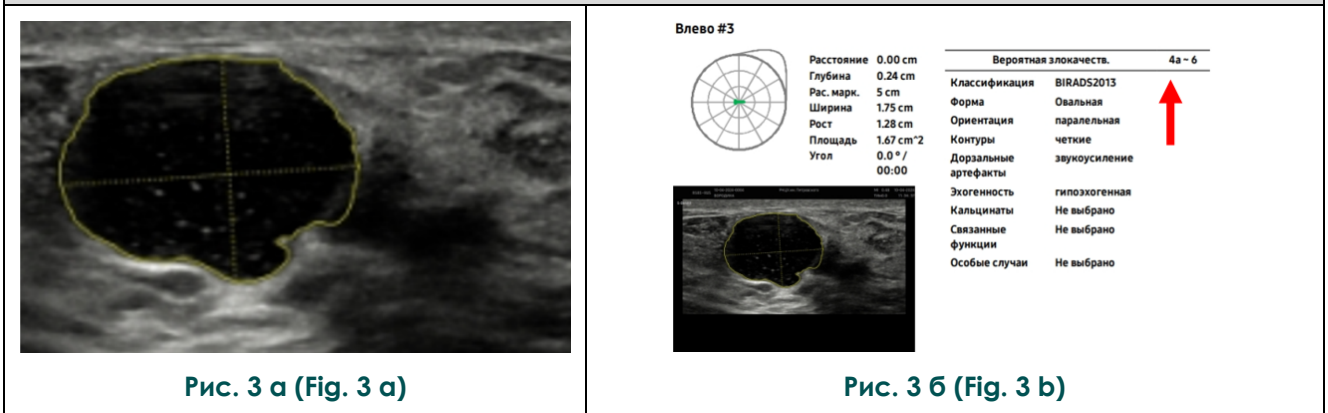


Рис. 3 а (Fig. 3 а)

Рис. 3 б (Fig. 3 б)

Рис. 3. УЗИ молочной железы. Пациентка Б., 38 лет.

А – Изображение новообразования в В-режиме. Жидкостное образование размерами 1,75х1,28 см, с четкими неровными контурами, с толстыми стенками и неоднородным содержимым в виде взвеси. В – Результат стратификации ИИ. Контур, выделенный желтым цветом – периметр анализируемого новообразования. Стрелка – стратификация новообразования ИИ по BI-RADS.

Fig. 3. Ultrasound, breast. Patient B, 38 years old.

A – B-mode, image of the neoplasm. A large, horizontally oriented neoplasm, without the capsule, measuring 1.75 x 1.28 cm. Its contours are fuzzy and blend with the surrounding tissue. It is hyperechoic, heterogeneous and contains small fluid inclusions. B – the result of AI stratification. Contour, highlighted in yellow – the perimeter of the analyzed neoplasm. Arrows – stratification of the AI neoplasm by BI-RADS.

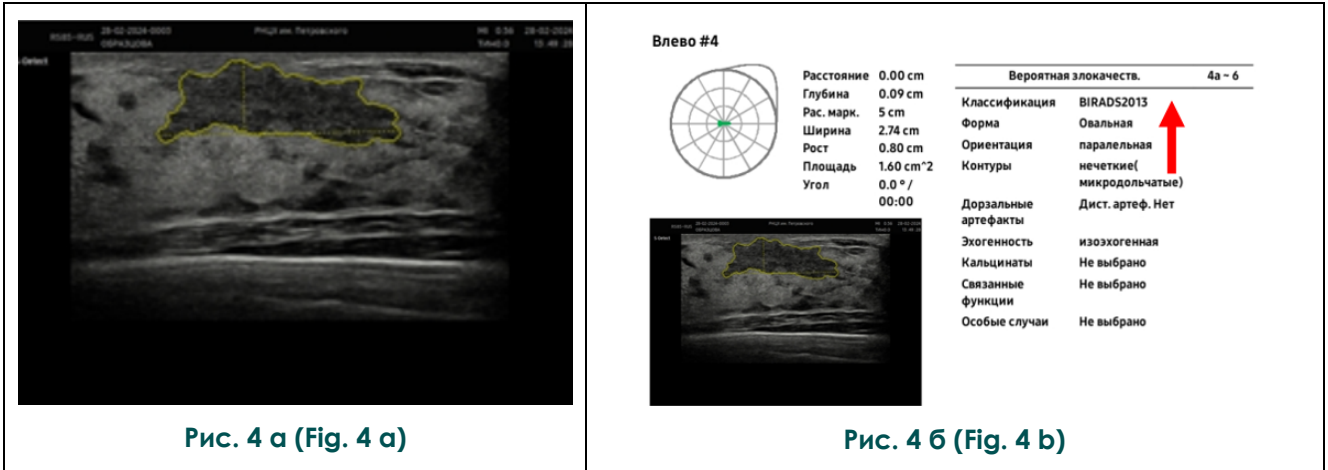


Рис. 4 а (Fig. 4 а)

Рис. 4 б (Fig. 4 б)

Рис. 4. УЗИ молочной железы. Пациентка О., 37 лет.

А – Изображение новообразования в В-режиме. Гипоэхогенная область ранее выполненной ВАВ-резекции крупной фибroadеномы, представленная замещенным рубцовой тканью ложем удаленной опухоли. В – Результат стратификации ИИ. Контур, выделенный желтым цветом – периметр анализируемого новообразования. Стрелка – стратификация новообразования ИИ по BI-RADS.

Fig. 4. Ultrasound, breast. Patient O, 37 years old.

A – B-mode image of the neoplasm. Hypoechoic area of a previously performed VAB-resection of a large fibroadenoma, representing the removed tumor bed replaced by scar tissue. B – the result of AI stratification. Contour, highlighted in yellow – the perimeter of the analyzed neoplasm. Arrows – stratification of the AI neoplasm by BI-RADS.

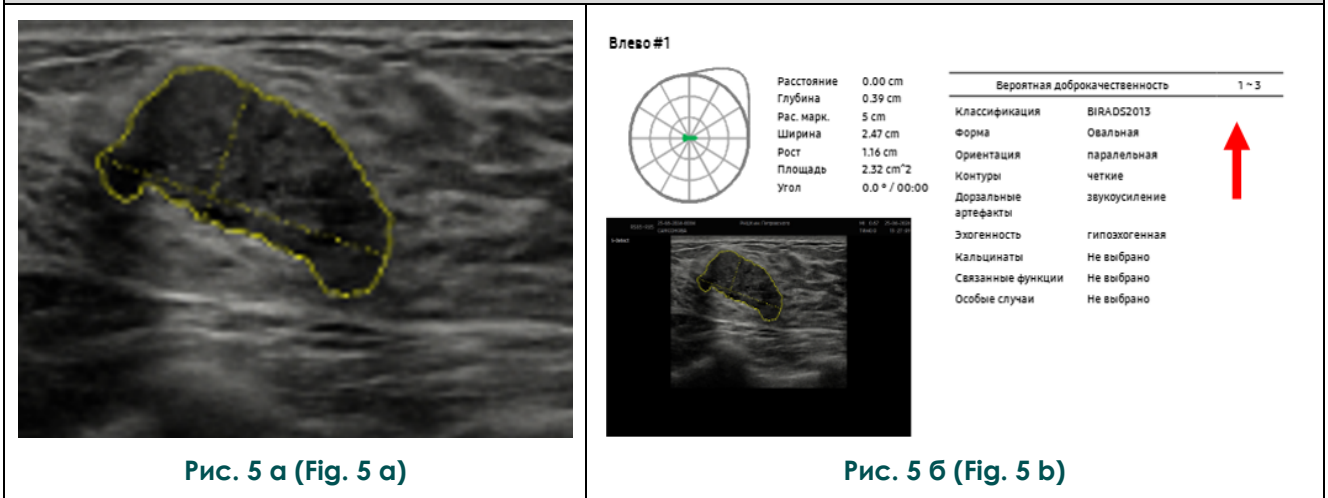


Рис. 5 а (Fig. 5 а)

Рис. 5 б (Fig. 5 б)

Рис. 5. УЗИ молочной железы. Пациентка С., 34 лет.

А – Изображение новообразования в В-режиме. Образование размерами 2,47х1,16 см с неровными контурами, гипоэхогенное, с мелкими жидкостными включениями. В – Результат стратификации ИИ. Контур, выделенный желтым цветом – периметр анализируемого новообразования. Стрелка – стратификация новообразования ИИ по BI-RADS..

Fig. 5. Ultrasound, breast. Patient S, 34 years old.

A – B-mode image of the neoplasm. The tumor measures 2.47x1.16 cm with irregular contours, is hypoechoic, and contains small fluid inclusions. B – the result of AI stratification. Contour, highlighted in yellow – the perimeter of the analyzed neoplasm. Arrows – stratification of the AI neoplasm by BI-RADS.

ключенным РМЖ при морфологическом исследовании, были классифицированы врачом как BI-RADS IVa, а ИИ как BI-RADS II-III, то есть имела место гипердиагностика со стороны врача. Все эти случаи были очень схожи по УЗ-картине новообразований и имели признаки атипичных фиброаденом.

В качестве примера приводим наблюдение пациентки С., 34 лет (рис. 5). Образование размерами 2,47x1,16 см с неровными контурами, гипозоногенное, с мелкими жидкостными включениями, гиперваскуляризованное в режиме ЦДК. В окружающих тканях сосудистый рисунок был обычным. Образование расценено врачом как атипичная фиброаденома и должно быть подвергнуто морфологической оценке, находясь в категории BI-RADS IVa. Результат морфологического исследования – смешанная фиброаденома. По параметрам нашего исследования результат врача – ложноположительный. Однако алгоритм оценки образования по типу фиброаденомы с набором атипичных УЗ-признаков, выполненный врачом, соответствует порядку стратификации атипичных образований в категории BI-RADS IV. Алгоритмы ПО ИИ не охарактеризовали имеющуюся радиомическую сигнатуру опухоли как соответствующую потенциально злокачественной. Так, ИИ не учел неровные контуры и васкуляризацию образования, соответственно результат стратификации не соот-

ветствует современному алгоритму оценки атипичных фиброаденом [21,22].

1 случай гиподиагностики РМЖ со стороны ПО ИИ представлен на рис. 6. Образование неправильной формы, с нечеткими, неровными бугристыми контурами, неравномерно пониженной эхогенностью, неоднородной структурой. Васкуляризация в режиме ЦДК была усилена. Текстурированный анализ алгоритмов ПО ИИ не стратифицировал его как потенциально злокачественное. Стратификация врача – категория BI-RADS IVb. Морфологическая оценка – РМЖ. Ситуация, приведшая к ошибочной стратификации данного образования ИИ как потенциально доброкачественного еще раз подтверждает уязвимость и отсутствие прозрачности алгоритмов МО на данном этапе его развития: производитель не раскрывает архитектуру сети, набор признаков и систему приоритизации признаков BI RADS.

Схожая ситуация прослеживается и в единственном наблюдаемом нами случае истинноположительной диагностики ИИ и гиподиагностики РМЖ со стороны врача (рис. 7). ИИ при автоматическом оконтуривании оценил форму образования как неправильную, а границы как нечеткие, и вновь нет ясности алгоритма оценки радиомической сигнатуры представленной опухоли как потенциально злокачественной. Врач, имея подобные характеристики, трактовал данный

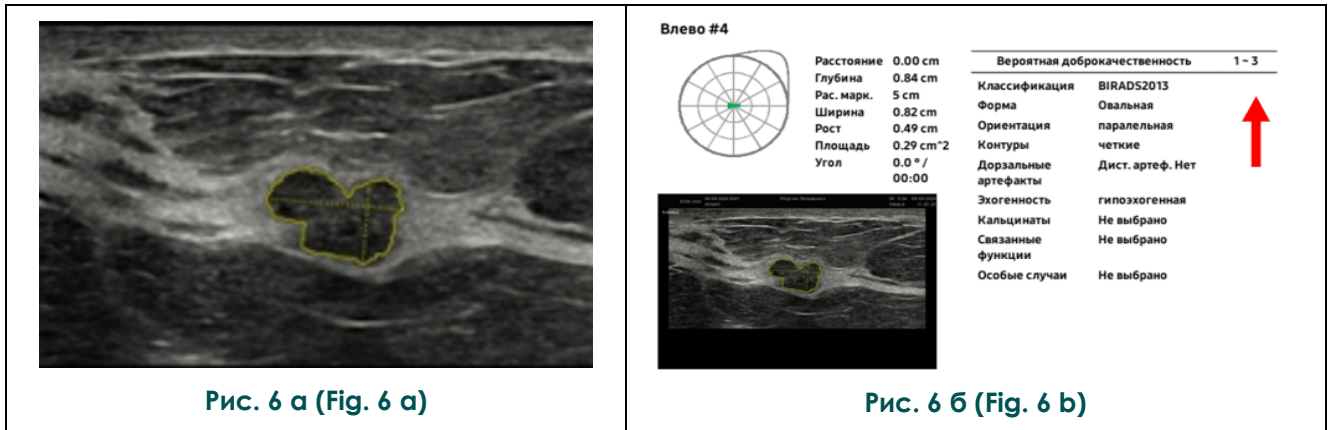


Рис. 6. УЗИ молочной железы. Пациентка Р., 37 лет.

А – Изображение новообразования в В-режиме. Образование неправильной формы, с нечеткими, неровными бугристыми контурами, неравномерно пониженной эхогенностью, неоднородной структурой. В – Результат стратификации ИИ. Контур, выделенный желтым цветом – периметр анализируемого новообразования. Стрелка – стратификация новообразования ИИ по BI-RADS.

Fig. 6. Ultrasound, breast. Patient R, 37 years old.

A – B-mode image of the neoplasm. The neoplasm is irregularly shaped, with unclear, uneven, bumpy contours, with unevenly decreased echogenicity and a heterogeneous structure. B – the result of AI stratification. Contour, highlighted in yellow – the perimeter of the analyzed neoplasm. Arrows – stratification of the AI neoplasm by BI-RADS.

объект как очаг мастопатии, присвоив ему категорию BI-RADS III. Следует отметить, что в данном примере при морфологической верификации был диагностирован рак *in situ*.

Группа 2. Пациенты с совпадением данных врача и ИИ, но с расхождением с данными морфологической верификации.

В группе совпадения данных врача и ИИ из 8 пациентов было 7 ложноположительных случаев со стороны врача и ИИ (пример на рис. 8) и 1 ложноотрицательный случай у врача и ИИ (рис. 9).

Все ложноположительные случаи стратификации новообразований врача и ИИ

алгоритмами ПО ИИ, указывали на потенциальный риск злокачественности данного новообразования, что привело к стратификации ИИ – BI-RADS IV-VI, врачом – BI-RADS IVb. От предложенного оперативного лечения, с учетом высокого риска ошибочных данных трепан-биопсии, с целью полного удаления новообразования и тотального гистологического исследования, пациентка оказалась.

1 ложноотрицательный случай у врача и ИИ представлен на рис. 9 (пациентка П., 45 лет). Гипоэхогенное образование с четкими контурами овальной формы и горизон-

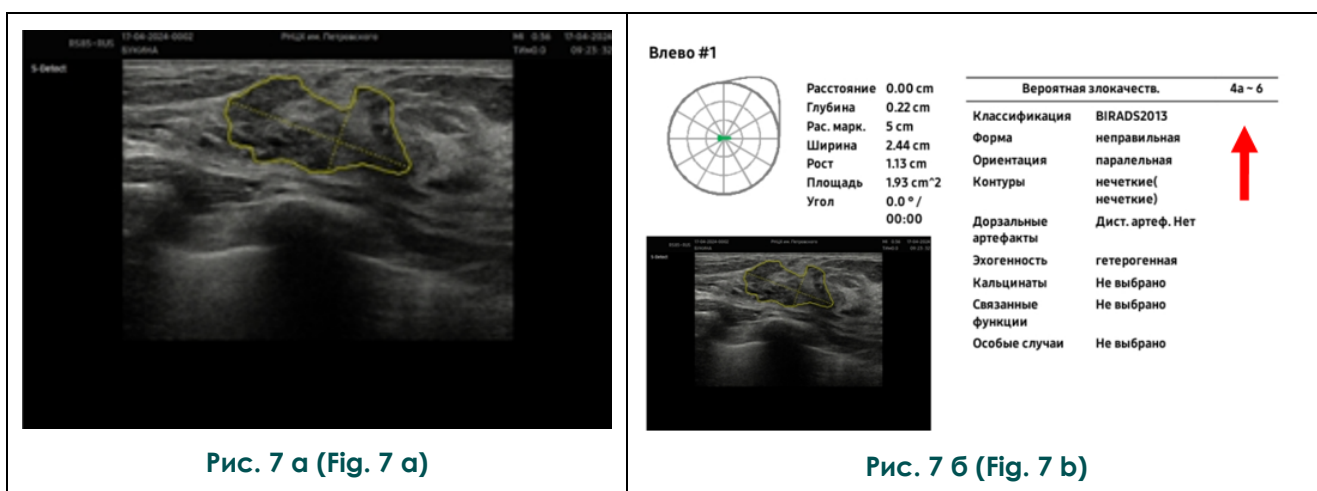


Рис. 7 а (Fig. 7 a)

Рис. 7 б (Fig. 7 b)

Рис. 7. УЗИ молочной железы. Пациентка Б., 41 лет.

А – Изображение новообразования в В-режиме. Образование неправильной формы, границы нечеткие. В – Результат стратификации ИИ. Контур, выделенный желтым цветом – периметр анализируемого новообразования. Стрелка – стратификация новообразования ИИ по BI-RADS.

Fig. 7. Ultrasound, breast. Patient B, 41 years old.

A – B-mode image of the neoplasm. The neoplasm is irregular in shape, with unclear borders. B – the result of AI stratification. Contour, highlighted in yellow – the perimeter of the analyzed neoplasm. Arrows – stratification of the AI neoplasm by BI-RADS.

имели схожую УЗ-картину атипичных фиброаденом, подобную разобранным выше случаям гипердиагностики новообразований со стороны врача (рис. 5). При этом, как уже было отмечено выше, алгоритм стратификации фиброаденомы с набором атипичных УЗ-признаков соответствует порядку стратификации атипичных образований в категории BI-RADS IV.

На рис. 8 (пациентка П., 42 года) образование имеет пониженную экзогенность, неправильную форму, неровные лучистые контуры и вертикальную пространственную ориентацию. По данным морфологического исследования (выполнена трепан-биопсия) представлено смешанной фиброаденомой. И классические ультразвуковые признаки, и радиомическая сигнатура, анализируемая

тальной пространственной ориентации, без усиления васкуляризации в режиме ЦДК, расцененное врачом и ИИ как с низким риском злокачественности (стратификация врачом – BI-RADS III, ИИ – I-III), при гистологическом исследовании оказалось РМЖ *in situ*.

Обсуждение.

Анализируя полученные результаты, можно выделить несколько факторов, преимущественно приводящих к расхождению стратификации новообразований молочных желез ИИ с данными врача и морфологического исследования. К таким факторам можно отнести нечеткие границы новообразования, его большие размеры, отсутствие возможности полипозиционного сканирования, а также учета иных УЗ-параметров помимо В-

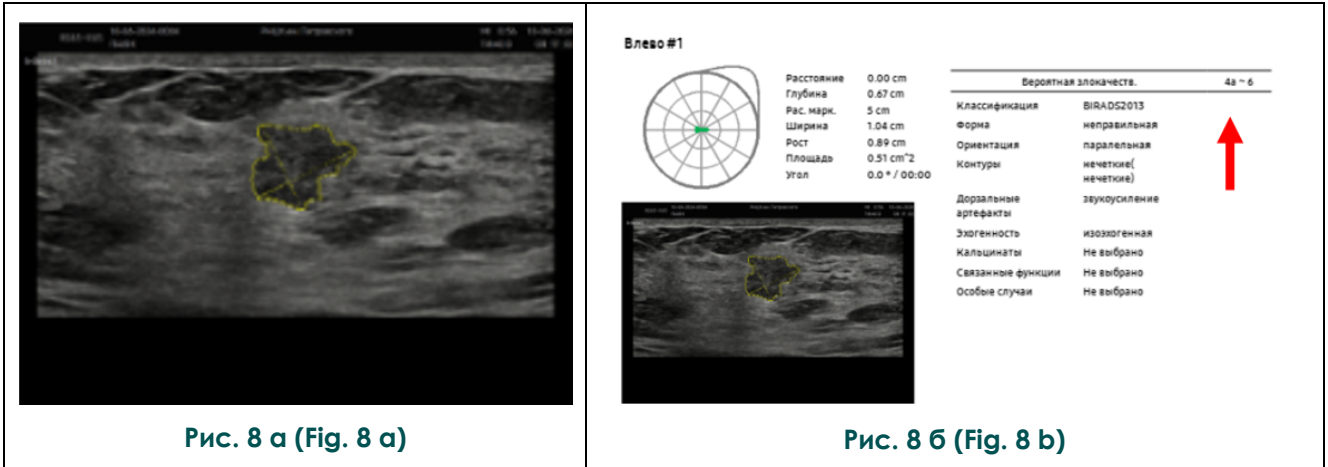


Рис. 8 а (Fig. 8 а)

Рис. 8 б (Fig. 8 б)

Рис. 8. УЗИ молочной железы. Пациентка П., 42 лет.

А – Изображение новообразования в В-режиме. Гипоэхогенное образование, неправильной формы, с неровными лучистыми контурами, вертикальной пространственной ориентации. В – Результат стратификации ИИ. Контур, выделенный желтым цветом – периметр анализируемого новообразования. Стрелка – стратификация новообразования ИИ по BI-RADS.

Fig. 8. Ultrasound, breast. Patient P, 42 years old.

A – B-mode image of the neoplasm. It is a hypoechoic lesion of irregular shape, with uneven radiating contours and a vertical spatial orientation. B – the result of AI stratification. Contour, highlighted in yellow – the perimeter of the analyzed neoplasm. Arrows – stratification of the AI neoplasm by BI-RADS.

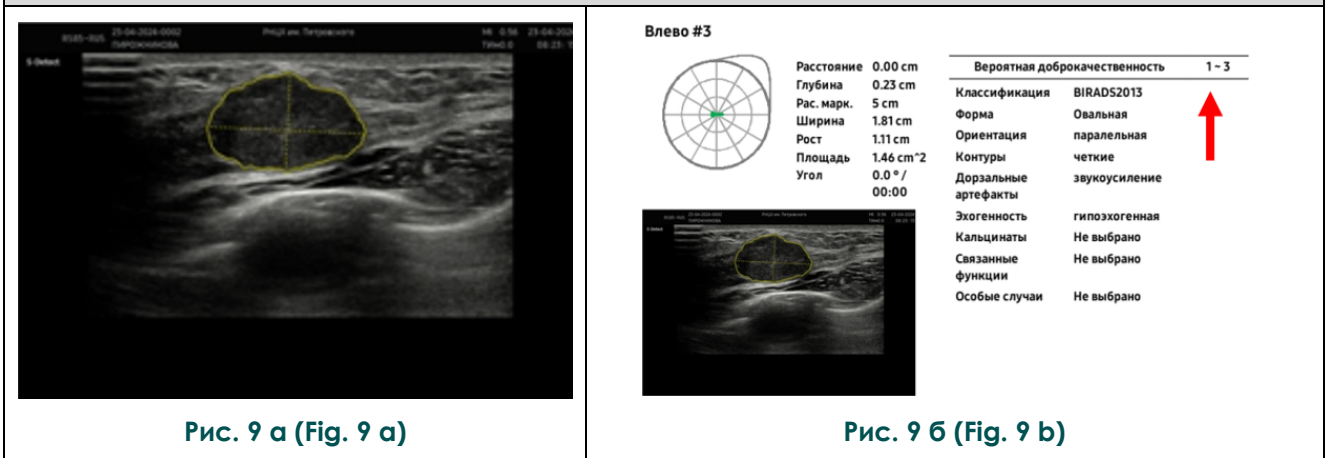


Рис. 9 а (Fig. 9 а)

Рис. 9 б (Fig. 9 б)

Рис. 9. УЗИ молочной железы. Пациентка П., 45 лет.

А – Изображение новообразования в В-режиме. Образование размерами 2,47x1,16 см с неровными контурами, гипоэхогенное, с мелкими жидкостными включениями. В – Результат стратификации ИИ. Контур, выделенный желтым цветом – периметр анализируемого новообразования. Стрелка – стратификация новообразования ИИ по BI-RADS.

Fig. 9. Ultrasound, breast. Patient P, 45 years old.

A – B-mode image of the neoplasm. It is a hypoechoic lesion with clear contours, oval in shape and horizontal in spatial orientation. B – the result of AI stratification. Contour, highlighted in yellow – the perimeter of the analyzed neoplasm. Arrows – stratification of the AI neoplasm by BI-RADS.

режима (оценка васкуляризации, эластичности ткани, кальцификации). Именно нечеткость контуров, послужившая причиной некорректного определения границ новообразования молочной железы, явилась причиной расхождения стратификации ИИ у 6 пациентов из 20 (30% от всех случаев). Расхождения в стратификации возникают при анализе «сложных» кист с плотным неоднородным содержимым, часто распознаваемых ИИ как солидные образования. Так, при анализе случаев гипердиагностики ИИ в 2 случаях образования были представлены кистами с продуктивным воспалением (10% случаев расхождения стратификации). Ранее выполненные оперативные вмешательства также приводят к ошибочным данным ИИ в условиях наличия рубцовой ткани, и этот фактор привел к ошибочным данным ИИ у 2 пациенток (10% случаев расхождения результатов стратификации). И примерно в половине случаев нет предположений, какие именно алгоритмы ПО ИИ приводили к трактовке радиомики опухоли как потенциально злокачественной.

Достаточно высокое количество ложноположительных результатов машинной обработки данных указывает на то, что система ИИ склонна к гипердиагностике. По нашему мнению, это объясняется тем, что ПО УЗ-сканера не обладает клиническим мышлением врача и не может сопоставить данные анамнеза с УЗ-картиной. Врач УЗД имеет возможность полипозиционного исследования, что в совокупности с данными мультипараметрического УЗИ (ЦДК, эластография, оценка микроваскуляризации) позволяет в ряде случаев более точно стратифицировать новообразование с учетом этой дополнительной информации [22].

Система ИИ анализирует только серошкальные статические кадры; любые изменения акустических пресетов (динамический диапазон, компрессия, частота зондирования) создают сдвиг распределения входных данных (data shift), приводя к росту ложноположительных ответов. Информация из эластографии, ЦДК и микроваскуляризации недоступна модели, что снижает чувствительность к биомеханическим и гемодинамическим маркерам опухоли и обуславливает склонность к гипердиагностике сложных кист и постоперационных рубцов.

Важным ограничением является отсутствие адаптивной сегментации и обучения в реальном времени. Модель не переобучается «на лету» под конкретный акустический путь, усиление, глубину или положение пациента, что усиливает оператор зависимость, осо-

бенно при исследовании крупных или многокамерных образований, частично выходящих за пределы окна сканирования.

Случаи расхождения данных ИИ и врача в части гипердиагностики последнего были, как раз обусловлены совокупностью данных полипозиционного сканирования и оценки васкуляризации гипоехогенных образований, а также были продиктованы следованием алгоритму оценки фиброаденомы с набором атипичных УЗ-признаков в категорию BI-RADS IV. Случаи гипердиагностики одновременно врача и ИИ также были обоснованы имеющейся УЗ-картиной фиброаденом с атипичными признаками.

Единственный случай недиагностированного и ИИ, и врачом злокачественного новообразования по данным морфологического исследования оказался РМЖ *in situ*, что соответствует УЗ-картине, не имеющей подозрительных эхо-критериев.

Одним из существенных ограничений использования встроенных ИИ-алгоритмов ультразвуковых сканеров, таких как S-Detect, является отсутствие возможности точной стратификации новообразований по отдельным категориям BI-RADS. Вместо присвоения конкретной диагностической категории (BI-RADS II, III, IVa, IVb и т.д.), алгоритм оперирует только укрупненными диапазонами: I–III как условно доброкачественные и IV–VI как условно злокачественные. Такое упрощение, вероятно, реализовано разработчиком с целью повышения надежности модели в условиях клинической неопределенности, а также минимизации потенциальных юридических рисков. С исследовательской точки зрения, подобная бинаризация снижает точность анализа, ограничивает возможности ROC-анализа по отдельным порогам и делает невозможной калибровку моделей с учетом диагностической неопределенности промежуточных категорий. Также отсутствие точной категоризации BI-RADS в текущей реализации ИИ модуля ограничивает его применение в рамках персонализированного подхода, что требует учета при планировании как рутинного использования, так и научных исследований в данной области.

Алгоритм S-Detect обучен на проприетарных выборках производителя Samsung, следовательно, его диагностические метрики могут отличаться при переносе на аппараты других фирм либо на устаревшие модели того же производителя. Практически отсутствуют независимые данные о повторной калибровке сети под иные А-/В-фильтры, характер шумов и частотный диапазон ли-

нейных датчиков других платформ.

Следующий фактор – алгоритмическая непрозрачность – «эффект черного ящика» и ограниченные средства аудита. Производитель не раскрывает архитектуру сети, набор признаков и систему пиризации признаков BI RADS.

Существенным может быть и ряд технических ограничений. Так изменение чувствительности пьезоэлементов, деградация кабеля или изменение калибровки TGC кривой может способствовать тому, что распределение интенсивностей отдельных областей может перестать соответствовать обучающей выборке, что в свою очередь приведет к росту ложноотрицательных и ложноположительных заключений. С другой стороны, встроенных процедур автоматической перекалибровки алгоритм не имеет.

В настоящее время встроенные в УЗ сканеры алгоритмы с ИИ находятся на этапе «узкоспециализированного помощника», чья эффективность доказана только при воспроизведении условий съемки, соответствующих условиям обучения модели, а любое отклонение – смена оборудования, режимов визуализации, индивидуальных особенностей пациентов – может существенно ограничивать обобщаемость результатов и требует многоцентровых исследований с последующей перекалибровкой встроенных механизмов непрерывного обучения.

Заключение.

Результаты проведенного анализа свидетельствуют, что на данном этапе развития ПО ИИ УЗ-сканера не показывает существенных преимуществ в стратификации новообразований молочных желез по сравнению с врачом УЗД с большим стажем работы. Наш опыт использования программы ИИ S-Detect ультразвукового сканера Samsung RS85 (Южная Корея) показал как ее эффективность для скрининга узловых

новообразований молочных желез, так и уязвимость алгоритмов МО в условиях особенностей визуализации и ограниченности данных. Система ИИ более склонна к гипердиагностике, чем врач УЗД, что обусловлено, в том числе, отсутствием возможности анализа совокупности данных путем клинического мышления и обработки данных мультипараметрического УЗИ.

Учитывая постоянный рост объема данных, совершенствование методов ГО, ИИ является одним из перспективных направлений развития УЗД и в дальнейшем позволит снизить нагрузку на врачей-специалистов, взяв на себя ряд рутинных функций первичного скрининга. Дальнейшее совершенствование ИИ в УЗД лежит в сфере автоматизации выполнения самого исследования, усовершенствования алгоритмов, имитирующих клиническое мышление, а также расширения объема одновременно анализируемых данных. В связи с этим, работая с ИИ в настоящее время, врачи должны понимать, что его возможности ограничены в том числе факторами, приводящими к ошибочной интерпретации данных.

Хотя ИИ и не может заменить собой врача УЗД, его дальнейшее внедрение в диагностическую практику неизбежно, а совершенствование будет идти быстрыми темпами. На данном этапе развития ИИ может использоваться в качестве системы поддержки принятия решения в определенных диагностических ситуациях, особенно молодыми специалистами.

Источник финансирования и конфликт интересов.

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие финансовой поддержки исследования и конфликта интересов, о которых необходимо сообщить.

Список литературы:

1. Kim J., Harper A., McCormack V. et al. Global patterns and trends in breast cancer incidence and mortality across 185 countries. *Nat Med*, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41591-025-03502-3>
2. Клинические рекомендации «Доброкачественная дисплазия молочной железы» от 2024 г. Утверждены Минздравом РФ. Доступно по: http://disuria.ru/_ld/9/996_kr20N60mz.pdf
3. Dyrstad S.W., Yan Y., Fowler A.M., Colditz G.A. Breast cancer risk associated with benign breast disease: systematic review and meta-analysis. *Breast Cancer Res Treat*. 2015 Feb;149(3):569-75. doi: 10.1007/s10549-014-3254-6. Epub 2015 Jan 31. PMID: 25636589.
4. Сенча А.Н., Метелкина П.В. Искусственный интеллект в ультразвуковой диагностике 2025. Версия 1.0. Учебное пособие. Москва «МЕДпресс-информ», 2025. 148 с.
5. Солодкий В.А., Каприн А.Д., Нуднов Н.В., и др. Искусственный интеллект в скрининге рака молочной железы (литературный обзор). Вестник Российского научного центра рентгенорадиологии Минздрава России. Федеральное государственное бюджетное учреждение "Российский научный центр рентгенорадиологии" Министерства здравоохранения Российской Федерации. 2022; 22 (4): 21-47.
6. Казакова В. А., Шивилов Е. В., Аничкина К. А., Тюляко

- ва С. А., Пастернак А. В. К вопросу о внедрении искусственного интеллекта в повседневную практику диагностики патологий молочной железы: все ли учтено? *Радиология-практика*. 2023;(2):36-49. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2023-3-36-49>
7. Hao X., Zhang G., Ma S. Deep learning. *Int J Semant Comput*. 2016;10(3):417-39. doi: 10.1142/s1793351x16500045
8. Sai Ma, Yanfang Li, Jun Yin, Qinghua Niu, Zichen An, Lianfang Du, Fan Li, Jiyang Gu. Prospective study of AI-assisted prediction of breast malignancies in physical health examinations: role of off-the-shelf AI software and comparison to radiologist performance. *Front Oncol*. 2024. May 2;14:1374278. DOI: 10.3389/fonc.2024.1374278.
9. Peijun Chen, Jiahui Tong, Ting Lin, Ying Wang, Yuehui Yu, Menghan Chen, Gaoyi Yang. The added value of S-detect in the diagnostic accuracy of breast masses by senior and junior radiologist groups: a systematic review and meta-analysis. *Gland Surg*. 2022 Dec;11(12):1946-1960. doi: 10.21037/gs-22-643.
10. Глушков П.С., Марущак Е.А., Азимов Р.Х. и др. Роль искусственного интеллекта в ультразвуковой диагностике узловых образований щитовидной железы. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2024; 12 2: 109 116.
11. Лебедев Г.С., Маслюков А.П., Шадркин И.А., Шадркина А.И. Глубокое машинное обучение (искусственный интеллект) в ультразвуковой диагностике. *Журнал телемедицины и электронного здравоохранения*. 2020; 2: 22-29.
12. Lei Y.M., Yin M., Yu M.H., Yu J., Zeng S.E., Lv W.Z., Li J., Ye H.R., Cui X.W., Dietrich C.F. Artificial Intelligence in Medical Imaging of the Breast. *Front Oncol*. 2021 Jul 22;11:600557. doi: 10.3389/fonc.2021.600557. PMID: 34367938; PMCID: PMC8339920.
13. Xu B., Luo W., Chen X., Jia Y., Wang M., Tian L., Liu Y., Lei B. and Li J. Evaluation of artificial intelligent breast ultrasound on lesion detection and characterization compared with hand-held ultrasound in asymptomatic women. *Front. Oncol*. 2023;13:1207260. doi: 10.3389/fonc.2023.1207260
14. Марущак Е.А., Зубарева Е.А., Глушков П.С., Фисенко Е.П. Оценка результатов применения искусственного интеллекта в ультразвуковой диагностике новообразований молочной железы. *REJR*. 2025; 15(1):119-129. DOI: 10.21569/2222-7415-2025-15-1-119-129.
15. Mendelson E.B. Bohm-Velez M., Berg W.A., et al. ACR BI-RADS® Ultrasound, In: ACR BI-RADS® Atlas, Breast Imaging Reporting and Data System. Reston, VA, American College of Radiology, 2013.
16. Литвин А. А., Буркин Д. А., Кропинов А. А., Парамзин Ф. Н. Радиомика и анализ текстур цифровых изображений в онкологии (обзор). *Соврем. технол. мед*. 2021; 13(2):97-106. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/radiomika-i-analiz-tekstur-tsifrovyyh-izobrazheniy-v-onkologii-obzor> (дата обращения: 20.03.2025).
17. Choi J.H., Kang B.J., Baek J.E., Lee H.S., Kim S.H. Application of computer-aided diagnosis in breast ultrasound interpretation: improvements in diagnostic performance according to reader experience. *Ultrasonography*. 2018 Jul;37(3):217-225. doi: 10.14366/usg.17046. Epub 2017 Aug 14. PMID: 28992680; PMCID: PMC6044219.
18. Eun Young Ko. Технология S-Detect™ в УЗИ молочных желез: первый опыт применения. *Sonoace Ultrasound* 2016; 29: 78-83.
19. Fu Y., Zhou J., Li J. Diagnostic performance of ultrasound-based artificial intelligence for predicting key molecular markers in breast cancer: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2024 May 31;19(5):e0303669. doi: 10.1371/journal.pone.0303669
20. Трошина Е.А., Захарова С.М., Цыгулева К.В., Ложкин И.А., Королев Д.В., Трухин А.А., Зайцев К.С., Солдатова Т.В., Гармаш А.А. Применение искусственного интеллекта в ультразвуковой диагностике узловых образований щитовидной железы. *Клиническая и экспериментальная тиреологическая*. 2024;20(1):15-29. <https://doi.org/10.14341/ket12782>
21. Фисенко Е.П., Иванова А.Г. Распределение фиброэпителиальных опухолей молочной железы в соответствии с категориями BI-RADS по данным ультразвукового исследования. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2023;(1):10-22. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2023-1-10-22>
22. Фисенко Е.П., Постнова Н.А., Ветшьева Н.Н., Батухтина Е.В. Применение классификации BI-RADS при ультразвуковой мультипараметрической оценке образований молочной железы. *Учебно-методическое пособие*. Москва, ООО «Фирма Стром», 2023. 112 с.
23. Labidi A., Alizada E.E., Bakhtiozin R.F. The role of multiparametric MRI in diagnosing breast cancer in patients with dense breast tissue. *REJR* 2025; 15(1):177-192. DOI: 10.21569/2222-7415-2025-15-1-177-192.

References:

1. Kim J., Harper A., McCormack V. et al. Global patterns and trends in breast cancer incidence and mortality across 185 countries. *Nat Med*, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41591-025-03502-3>
2. Clinical guidelines "Benign breast dysplasia" from 2024. Approved by the Ministry of Health of the Russian Federation. Available at: http://disuria.ru/_ld/9/996_kr20N60mz.pdf (in Russian).
3. Dyrstad S.W., Yan Y., Fowler A.M., Colditz G.A. Breast cancer risk associated with benign breast disease: systematic review and meta-analysis. *Breast Cancer Res Treat*. 2015 Feb;149(3):569-75. doi: 10.1007/s10549-014-3254-6. Epub 2015 Jan 31. PMID: 25636589.
4. Sencha A.N., Metelkina P.V. Artificial Intelligence in Ultrasound Diagnostics 2025. Version 1.0. Study Guide. Moscow, MEDpress-inform, 2025. 148 p. (in Russian).
5. Solodkiy V.A., Kaprin A.D., Nudnov N.V., et al. Artificial Intelligence in Breast Cancer Screening (literature review). *Bulletin of the Russian Scientific Center of Roentgenology and Radiology of the Ministry of Health of the Russian Federation. Federal State Budgetary Institution "Russian Scientific Center of Roentgenology and Radiology" of the Ministry of Health of the Russian Federation*. 2022; 22 (4): 21-47 (in Russian).
6. Kazakova V. A., Shivilov E. V., Anichkina K. A., Tyulyako-

- va S. A., Pasternak A. V. On the implementation of artificial intelligence in the everyday practice of diagnosing breast pathology: has everything been taken into account? *Radiology-practice*. 2023;(2):36-49. <https://doi.org/10.52560/2713-0118-2023-3-36-49> (in Russian).
7. Hao X., Zhang G., Ma S. Deep learning. *Int J Semant Comput*. 2016;10(3):417-39. doi: 10.1142/s1793351x16500045
8. Sai Ma, Yanfang Li, Jun Yin, Qinghua Niu, Zichen An, Lianfang Du, Fan Li, Jiyang Gu. Prospective study of AI-assisted prediction of breast malignancies in physical health examinations: role of off-the-shelf AI software and comparison to radiologist performance. *Front Oncol*. 2024. May 2;14:1374278. DOI: 10.3389/fonc.2024.1374278.
9. Peijun Chen, Jiahui Tong, Ting Lin, Ying Wang, Yuehui Yu, Menghan Chen, Gaoyi Yang. The added value of S-detect in the diagnostic accuracy of breast masses by senior and junior radiologist groups: a systematic review and meta-analysis. *Gland Surg*. 2022 Dec;11(12):1946-1960. doi: 10.21037/gs-22-643.
10. Glushkov P.S., Marushchak E.A., Azimov R.Kh. et al. The role of artificial intelligence in ultrasound diagnostics of thyroid nodules. *Surgery. Journal im. N.I. Pirogov*. 2024; 12 2: 109 116 (in Russian).
11. Lebedev G.S., Maslyukov A.P., Shaderkin I.A., Shaderkina A.I. Deep machine learning (artificial intelligence) in ultrasound diagnostics. *Journal of Telemedicine and Electronic Health*. 2020; 2: 22-29 (in Russian).
12. Lei Y.M., Yin M., Yu M.H., Yu J., Zeng S.E., Lv W.Z., Li J., Ye H.R., Cui X.W., Dietrich C.F. Artificial Intelligence in Medical Imaging of the Breast. *Front Oncol*. 2021 Jul 22;11:600557. doi: 10.3389/fonc.2021.600557. PMID: 34367938; PMCID: PMC8339920.
13. Xu B., Luo W., Chen X., Jia Y., Wang M., Tian L., Liu Y., Lei B. and Li J. Evaluation of artificial intelligent breast ultrasound on lesion detection and characterization compared with hand-held ultrasound in asymptomatic women. *Front Oncol*. 2023;13:1207260. doi: 10.3389/fonc.2023.1207260
14. Marushchak E.A., Zubareva E.A., Glushkov P.S., Fisenko E.P. Evaluation of the results of applying artificial intelligence in ultrasound diagnostics of breast neoplasms. *REJR*. 2025; 15(1):119-129. doi: 10.21569/2222-7415-2025-15-1-119-129 (in Russian).
15. Mendelson EB, Bohm-Velez M, Berg WA, et al. ACR BI-RADS® Ultrasound, In: ACR BI-RADS® Atlas, Breast Imaging Reporting and Data System. Reston, VA, American College of Radiology, 2013.
16. Litvin A. A., Burkin D. A., Kropinov A. A., Paramzin F. N. Radiomics and texture analysis of digital images in oncology (review). *Sovrem. technol. med*. 2021; 13(2):97-106. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/radiomika-i-analiz-teksturtsifrovyyh-izobrazheniy-v-onkologii-obzor> (accessed: 20.03.2025) (in Russian).
17. Choi J. H., Kang B. J., Baek J. E., Lee H. S., Kim S. H. Application of computer-aided diagnosis in breast ultrasound interpretation: improvements in diagnostic performance according to reader experience. *Ultrasonography*. 2018 Jul;37(3):217-225. doi: 10.14366/usg.17046. Epub 2017 Aug 14. PMID: 28992680; PMCID: PMC6044219.
18. Eun Young Ko. S-Detect™ technology in breast ultrasound: initial application experience. *Sonoace Ultrasound* 2016;29:78-83.
19. Fu Y., Zhou J., Li J. Diagnostic performance of ultrasound-based artificial intelligence for predicting key molecular markers in breast cancer: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2024 May 31;19(5):e0303669. doi: 10.1371/journal.pone.0303669
20. Troshina E.A., Zakharova S.M., Tsyguleva K.V., Lozhkin I.A., Korolev D.V., Trukhin A.A., Zaitsev K.S., Soldatova T.V., Garmash A.A. Application of artificial intelligence in ultrasound diagnostics of thyroid nodules. *Clinical and experimental thyroidology*. 2024;20(1):15-29. <https://doi.org/10.14341/ket12782> (in Russian).
21. Fisenko E.P., Ivanova A.G. Distribution of fibroepithelial tumors of the mammary gland in accordance with BI-RADS categories based on ultrasound examination data. *Ultrasound and functional diagnostics*. 2023;(1):10-22. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-2023-1-10-22> (in Russian).
22. Fisenko E.P., Postnova N.A., Vetsheva N.N., Batukhtina E.V. Application of the BI-RADS classification in ultrasound multiparametric assessment of mammary gland formations. *Tutorial*. Moscow, Firma Strom LLC, 2023. 112 p. (in Russian).
23. Labidi A., Alizada E.E., Bakhtiozin R.F. The role of multiparametric MRI in diagnosing breast cancer in patients with dense breast tissue. *REJR* 2025; 15(1):177-192. DOI: 10.21569/2222-7415-2025-15-1-177-192.